溫室結構設計與環境控制

王鼎盛 *

A Concept of Structural Design and Environment Control in the Greenhouse

Tin-Sen Wang

摘　要

設施園藝的發展，在營運上有兩極端的傾向。一以投入大量的資金，建立較大規模的設施，完備的裝置及高水準栽培管理技術的環境控制溫室園藝。另一為以最低需要的投資金額及勞力，構築簡易、無加溫冷却設施，以自然修正環境的設施園藝。兩者在機能型態上雖有相異，然基本上有其共同的技術及思想。

本文以農業工程之立場，依其共同觀點，在溫室結構設計的原則與環境控制手段方面做一總論，冀結合工程與生物於一體，有助加速本省設施園藝之發展。

一、緒　言

人類為克服作物生產之惡劣環境而開發了種種栽培技術：如整地、灌溉、排水、施肥、防風等措施，而隨著人口急增及科技發達，該技術步入更集約及高效之境界，溫室即為其中一項。溫室主要的目的在改變作物生長之自然環境，創造適合作物最佳之生長環境，以避免外界惡劣環境：如高溫、低溫、颱風、炎日、暴雨、積雪及不適的空氣組成等，以達到調整產期，促進生長發育及病蟲害防治等目的。

台灣平地夏平均氣溫約在 25 ℃左右，而秋冬亦在 15 ℃左右，因此台灣本島的氣候型態基本上就可說是個大溫室。但是本地區的氣候型態，對於作物的栽培亦有其不利的因素：如常見的午後暴雨、梅雨、颱風或冬天的霜害、寒流等，都會對收成造成莫大的影響。由於農業生產利潤低，農民為了確保產量與品質，對於一些高利潤的特種作物亦開始嘗試以興建保護性結構物來抵禦自然的災害。

本省設施園藝，還在萌芽階段。在溫室結構設計方面無法規及設計基準備供遵循，在溫室環境控制方面，亦無環境設計指針可供參考。至於溫室內作業之研究祇是開始而已。

日本與台灣相鄰，同樣位於太平洋的西岸，只是緯度稍高，橫跨亞熱帶及溫帶兩區，因此在農業氣象上彼此有許多相似之處。日本之文化受我國影響較深，在思想、飲食及生活習慣與我國

---

* 台灣大學農業工程系副教授
Associate Professor, Department of Agriculture Engineering, National Taiwan University

有許多相似的觀點。且同屬地狹人稠之農業型態，種植之果蔬亦類似。但日本由於氣候寒冷較台灣提早引進溫室設計技術，且號稱擁有世界第一之溫室面積。加上從事溫室構造及環境之農業氣象學會、農業設施學會及生物環境調節學會分別擁有龐大會員。故本文之資料大都參考日本之資料，以他們的經驗及成果暫時做爲本省溫室設計之參考與指針。

二、溫室建造之原則

溫室之建造由於各人之嗜好與經驗、社會經濟條件、敷地（室址）地理條件、採用資材及栽培作物之不同而南轅北轍，它正像我們的住宅，適用於別家的不一定合於我家的習性與經濟，但其基本之原則是共通的，其基本原則如下：

(一)溫室必須是個適合作物生育且生產性高之建物

溫室之成敗在於是否具有良好的葉部及根部之生長複合環境之控制。複合環境要素有氣溫、濕度及CO_2濃度等，它受到被覆材料之光透過率、透過光質、吸光率，地面土壤之結構、地下水位高低等，加溫、防熱設施，及溫室之高度、屋頂斜度、棟距、棟方位等等之影響，其關係錯綜複雜。但今日電子計算機之發達，加上數學及熱力學之基礎，可於建造前分析及預估，並以自動控制使作物在最佳環境內生長。

溫室內之附屬設備如灌溉（含施肥）、冷暖氣器、窗戶開啓、遮蔭保溫簾之啓閉、通風換氣、人工照明及CO_2補充器，及自動控制系統等皆需有硬體及軟體問題，在整個生產體系中把這些設備做合理之組合使用以降低生產成本提高溫室之生產性。

(二)室內環境必須是作業者舒適之環境，其內之設施必須是個能提高工作效率者

適合作物生長環境不一定適合人的作業環境，比如高溫作物需30℃～32℃之氣溫及濕度在80～90％，但人的作業環境應以28℃～30℃及70％爲宜。所以如何以通風來降低感覺溫度（effective temperature）使人舒適而不危及作物生長亦爲設計必須顧及的。

通道寬度、栽培床高寬度、株距等影響工作效率，故門之寬高、通道寬度與淨高、栽培床之各尺寸，及各設備操作位置的合理組合以適合人因工程的要求並減少動線以節省勞力亦是不可忽略的。

(三)結構須安全，造價及維護費用要低

溫室需抵抗強裂的地震與颱風的侵襲，爲確保溫室在其耐用年限內能保護作物的生長，必須做結構分析與設計。由於我國至今雖有適用於人類安全的“建築技術規則”,但若以此標準做爲溫室之設計準則,溫室建造費有偏高之勢，若安全度低則結構構材斷面小而造價低，但地震或颱風發生時作業人員正好在內而受到傷害，所以如何取捨有待斟酌。

建造及維護費兩者具有互相矛盾的性格，比如玻璃溫室比塑膠溫室造價高，但因塑膠不耐用需經常換新故維護費高，現今之技術可用最佳法決定最經濟之取捨，但材料價格及工資經常在變動，故目前之設計不一定保證後日亦作如是觀。

(四)溫室不可變爲公害源

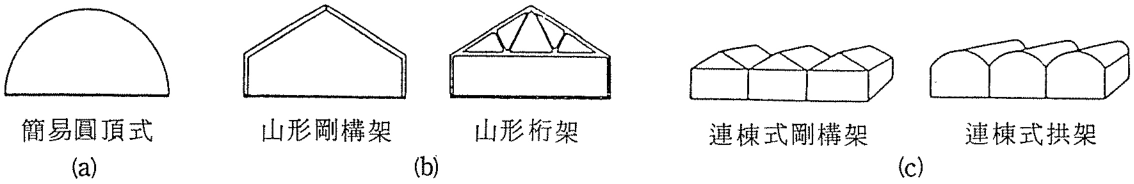
土耕溫室因連作障礙需變換土壤或需使用農藥或肥料，液栽經營需更換培養液及消毒液。這些廢棄物是公害源，動力運轉所產生之噪音亦是公害源。現代化社會對於公害的容忍標準愈嚴，其取締也愈緊，所以設計者應洞察先機防患未然。

三、溫室之結構設計

(一)溫室之種類

溫室按結構形狀可分爲如圖一之簡易圓頂溫室(Quonset house)、山形剛構或桁架溫室(Gable frame or Truss)及連棟山形或圓頂溫室(Gutter-connected house)。

按結構體骨架材料可分爲木造、竹造、鋼鐵、鋼管、鋁造、塑鋼、塑膠管、鋼筋混凝土或混合溫室。按被覆材料可分爲玻璃及塑膠溫室。



圖一　溫室結構形狀之分類[1]

(二)載　　重(Load)

結構所承受的荷重及外力稱爲載重，溫室之載重有下列各項：

1. 靜載重(dead load)：靜載重爲建築物本身各部分之重量及固定於建築物構造上各物之重量。如屋面系統、樑柱、牆及掛鈎樑等皆是。
2. 活載重(live load)：垂直載重中不屬於靜載重者均爲活載重。活載重包括建築物室內人員、設備、貯藏物品及吊裝設備等。
3. 風力(wind load)溫室須能抵禦來自任何方向之風壓力及風昇力。風力與地域、構造物形狀及高度有關。
4. 地震力(seismic force)：溫室應能抵禦任何方向之地震力。雖然地震力有鉛垂及水平方向力，但因結構抵抗水平力的能力較差，故地震力假定橫向作用於基面上。地震力與區域、組構及用途有關。
5. 其他：除以上各力外可能還有雪載重、土壓及水壓，視溫室之地理位置而異。

(三)載重組合

結構在其耐用年限間，所承受之載重基於經濟性之考慮，以統計方法分析後規定於建築技術規則中，按日本之規定如表一。

表一　應力組合[9]

應力組合	荷重狀態	應力組合
長期應力	常　　時	G＋V
短期應力	暴風時	G＋V＋W
	地震時	G＋V＋K

G＝靜載重
V＝活載重
W＝風　力
K＝地震力

(四)結構設計

結構分爲磚構造、木構造、鋼構造、鋁構造及鋼筋混凝土造，而以彈性或塑性設計法設計之。一般來說塑性設計比彈性設計較爲經濟。

一個完美的設計須從施工（ construction ）、造型（ appearence ）、機能（ use ）、安全（ safety ）及經濟（economics ）即CAUSE之諸觀點反覆斟酌評估後才定案。其中機能一項應考慮到環境及作業效率爲最費神之一項。又結構安全設計本來是個最煩雜之一項，但可借助電腦分析而縮短設計時日。

四、溫室氣候的特質

溫室內氣候對比於露地有下列之差異特徵：

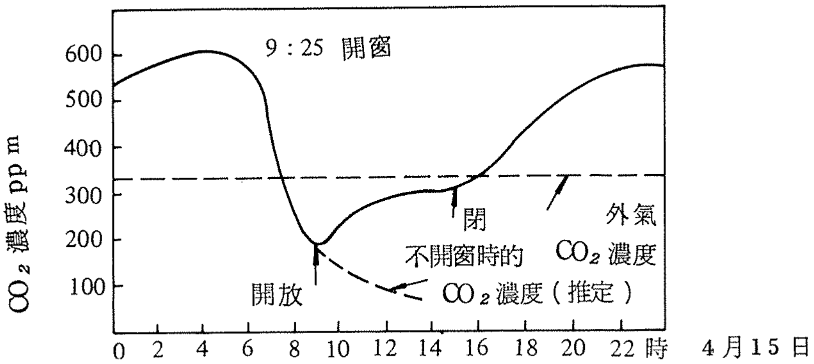
氣候要素	對比於露地之特徵
CO_2 濃度	晝間通常減少，然可藉 CO_2 施肥增大至比外氣較高的濃度。夜間蓄積土壤微生物及作物呼吸放出之 CO_2，濃度可達到 500 ppm～600 ppm。
光	光量依被覆資料而可能減少 20％～40％，光的分布不均一。光質方面，紫外線欠缺或減少，由被覆材的選擇可給予自然光不同之光質。
溫度	晝間通常較高溫，夜間比室外稍高，在小設施有反而較低的情況。易高溫化。晝夜皆無法避免溫度的不均一分布，溫差變化大。
濕度	可在過濕與過乾之間大幅變化。
風速	通常較微弱，通風時控制在平均 0.5 m／sec 以下。

如同上述，溫室爲求得本來溫暖氣候化之目的，而造成生產原料 CO_2 的不足及生產動力光量的減少兩重大損失，並有過乾或過濕的危險，爲溫室氣候之特徵。另一方面，在密閉的空間中可行微氣候調節，作出適合作物之生長環境爲溫室之特色。

(一)CO_2環境

於短時或長期的密閉狀態下的溫室內栽培作物，溫室內空氣中的 CO_2 濃度會產生極大的變化。夜間由土壤微生物及作物呼吸放出的 CO_2 濃度蓄積而漸上昇，至黎明前達到最高（參照圖二），通常比大氣 300 ppm的 CO_2 濃度高出 2～3 倍。日出後作物葉片行光合作用消耗 CO_2，CO_2 濃度急速下降，實際栽培時，晴天的上午必定有 CO_2 不足的現象，而 CO_2 不足的現象以溫室容積愈小，密閉性愈高，作物光合成器官葉面積愈大時愈形顯著。圖二爲栽培番茄之塑膠布溫室一天中 CO_2 濃度的變化情況，在 9 點時開窗，CO_2 濃度即回昇至接近屋外值。若仍置溫室於密閉狀態，則 CO_2 濃度持續下降，經過圖中之虛線降至 200 ppm～150 ppm，在狹小和栽培較密的溫室內甚有降至 50 ppm～80 ppm之情況。

影響溫室內 CO_2 濃度之因子有作物的繁茂度，作物種類及光合成特性，土壤質地與厚度，換氣率，日射量及溫室構造等。

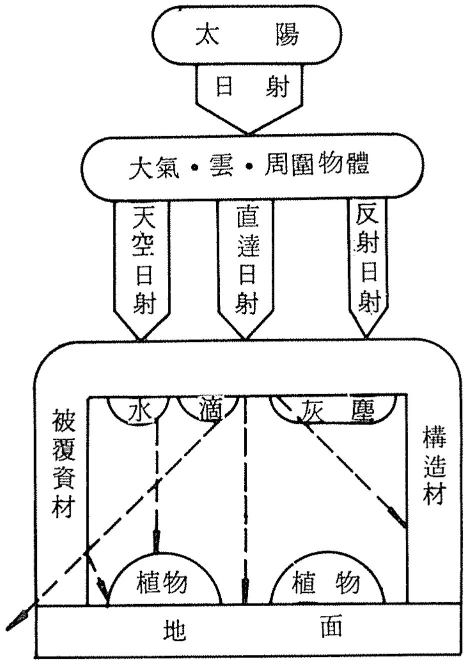


圖二　番茄栽培塑膠布溫室內 CO_2 濃度的日變化（千葉大蔬菜研）[8]

㈡光 環 境

太陽光經過大氣層，其一部分經大氣中空氣組成分子及灰塵等之吸收、反射，到達溫室外表面可分爲直達日射及散亂（天空＋反射）日射，再透過被覆體到達溫室內地面、植物體及壁面，或又再反射、再穿透被覆材至溫室外部，其行徑如圖三。

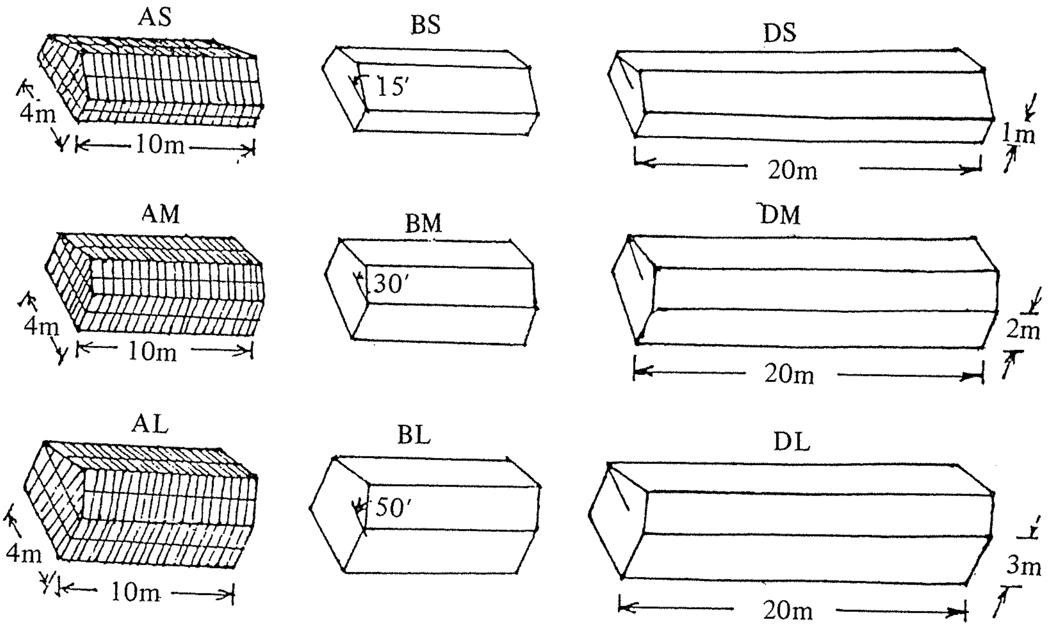
而無論任何形式、種類之溫室，其內部光環境與露地比較有光量的減少、不均一分布、光質的變化等三項特徵。



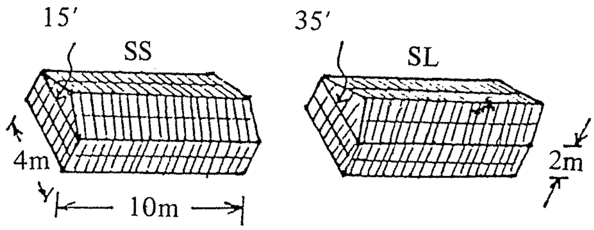
圖三　光透過溫室之行徑[10]

1. 光量的減少

溫室內光量減少的原因爲(1)樑、柱等不透明構材的遮光(2)被覆材的反射和吸收(3)被覆材上灰塵、水滴的吸收和反射。其中(1)和(2)隨著太陽高度、溫室方位、構造和屋角傾斜度而變化，產生溫室透光率因設置地方不同而有差異，並在每一時刻、季節都有變化。圖五～七分別爲由圖四之山形單棟玻璃模型溫室計算所得直達光量減少之變化情形。



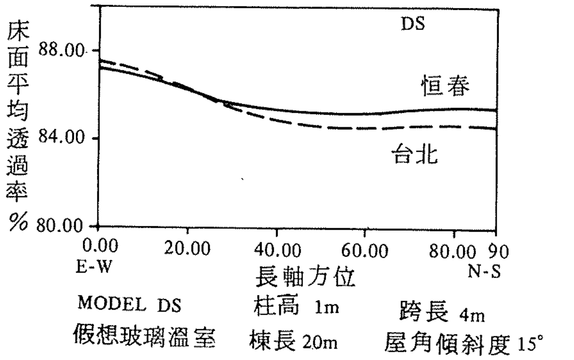
模型 I



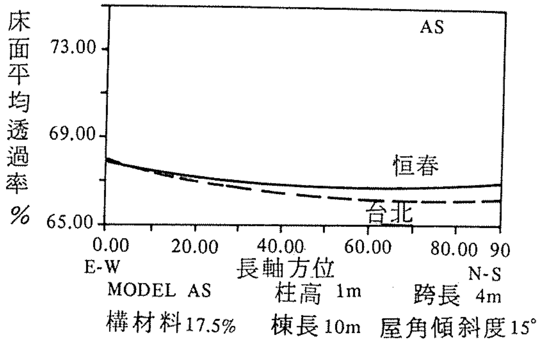
模型 II

圖四、計算模型溫室之構面圖[5]

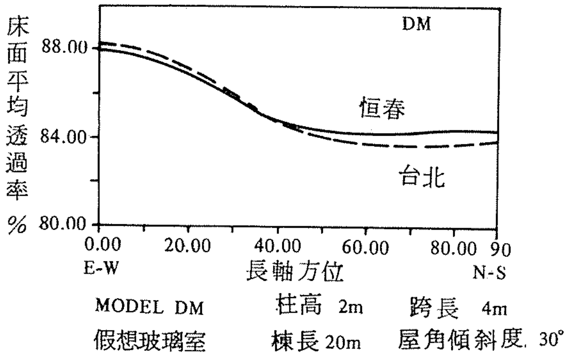
註：(1) BM、BS、BL、DM、DS、DL 爲外表全部玻璃之假想溫室
(2)玻璃厚度 3 mm，折射率1.526，吸收係數 0.04
(3)固定玻璃邊材厚度爲 2 cm



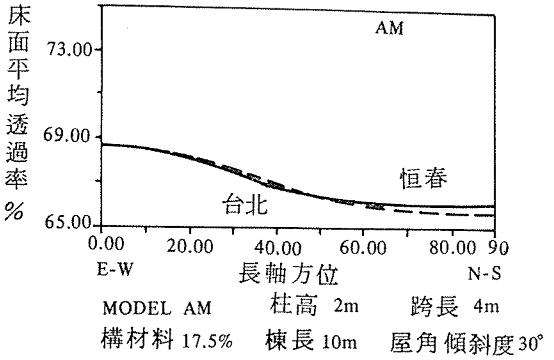
模型DS 長軸方位別全天直達光床面平均透光率之變化



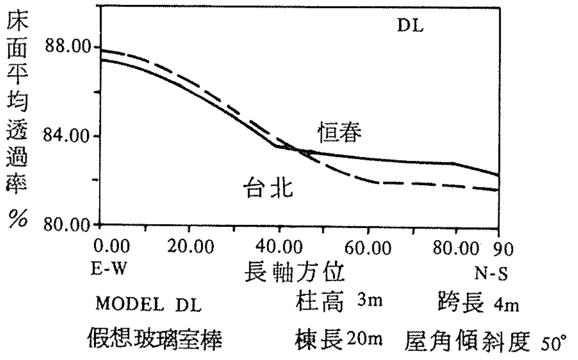
模型AS 長軸方位別全天直達光床面平均透光率之變化



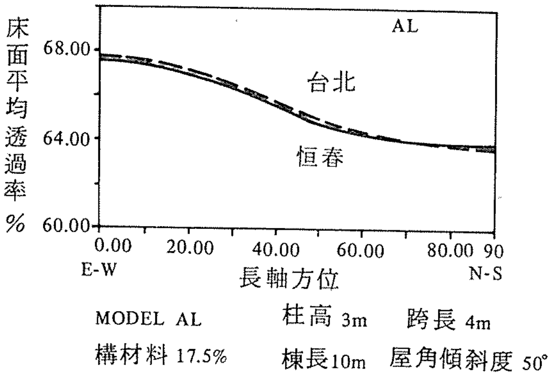
模型DM 長軸方位別全天直達光床面平均透光率之變化



模型AM 長軸方位別全天直達光床面平均透光率之變化



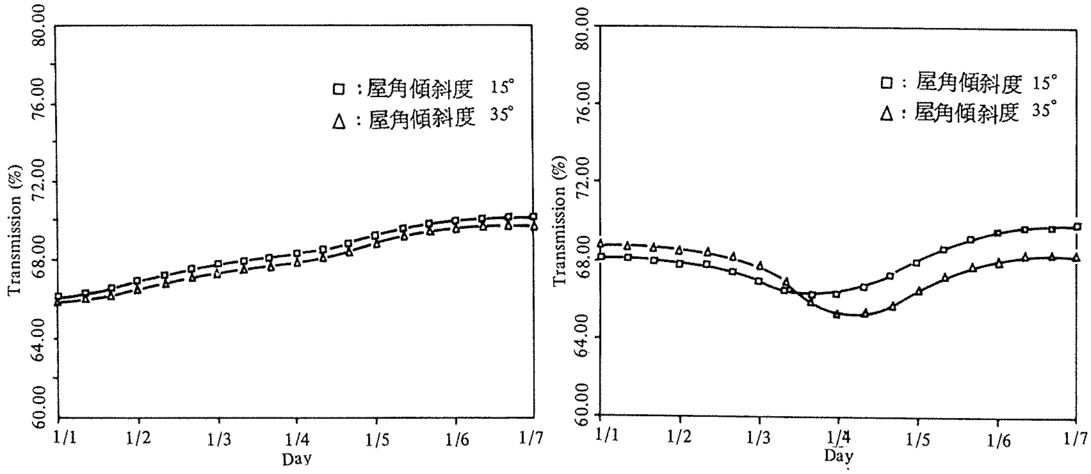
模型DL 長軸方位別全天直達光床面平均透光率之變化



模型AL 長軸方位別全天直達光床面平均透光率之變化

圖五 模室 - I 溫度緯度別、方位別之直達光床面平均透過率之變化 (5)

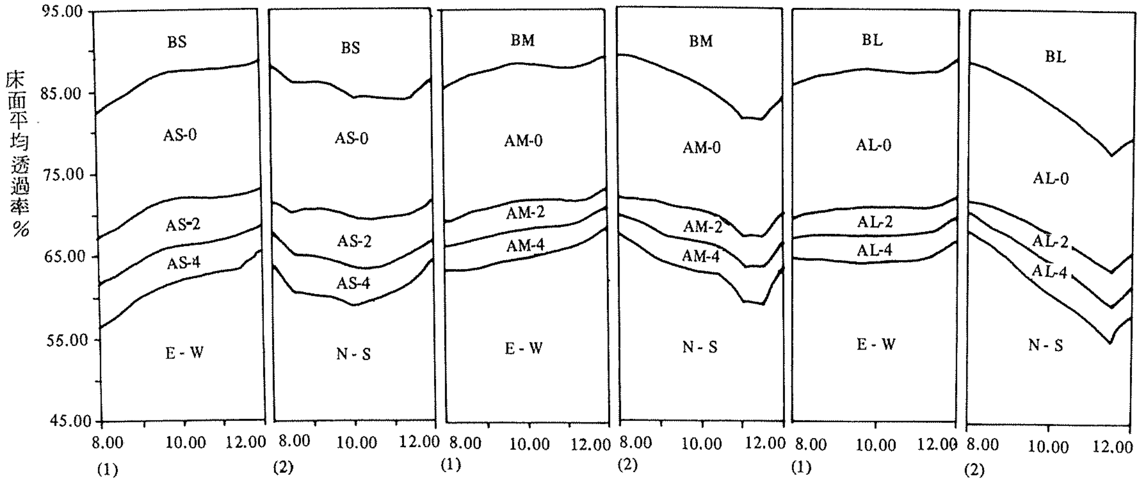
註：* 計算時間為冬至（ 12 月 22 日），台北（ 25°03'，北緯），恒春（ 22°，北緯）



屋角傾斜度別南北棟全天直達光床面平均透過率之季節變化（台北，北緯 25° 03′）

屋角傾斜度別東西棟全天直達光床面平均透過率之季節變化（台北，北緯 25° 03′）

圖六　模型 - II 溫室直達光床面平均透過率之季節變化 (5)



模型 AS 直達光床面平均透過率之時刻變化 **

模型 AM 直達光床面平均透過率之時刻變化 **

模型 AL 直達光床面平均透過率之時刻變化 **

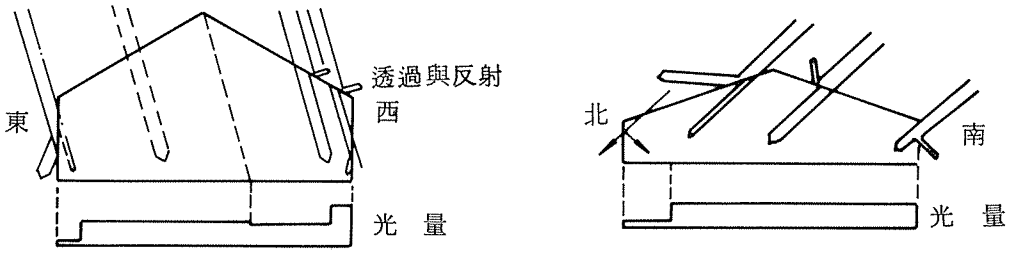
圖七　模型 - I 溫室直達光床面平均透過率之時刻變化 (5)

註：** 計算時間爲冬至（12 月 22 日），台北（25°03′，北緯）
固定玻璃邊材厚度分別爲 0 cm，2 cm，4 cm

— 132 —

2.不均一分布

溫室內光分佈不齊的主要原因爲直達光在穿透溫室外表面時因樑、柱及桁條等不透明的構造材遮光而在溫室內地面產生條紋或棋盤狀之陰影。其次爲穿透玻璃、塑膠布時直達光入射角度之不同而產生的強光、弱光的帶狀模樣。圖八爲入射角不同而產生光分佈不齊之例子。如南北棟溫室，近東側壁面處產生極端的弱光帶，在西側壁附近則由壁面內反射而產生強光帶。



A　南北棟上午 11 時的地面光量分布　　　B　東西棟

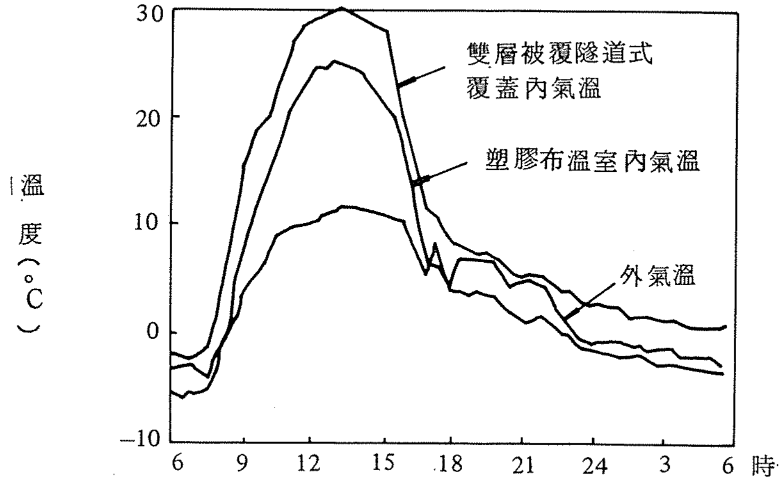
圖八　被覆材受光角度相異之室內光量不齊分佈[8]

3.光質的變化

由於各被材料分光透過率的不同，溫室內光質因使用被覆材料而與自然光有不同的光質。如玻璃、塑膠布中，以玻璃對紫外線的穿透率較高，對作物生育較有利的可見光部分皆可穿透 90% 左右，而在長時間使用後，玻璃以外的一般塑膠材料透過率顯著的變差。

㈢溫度環境

溫室內溫度氣候有兩大特徵，一爲如同沙漠氣候般，晝夜間溫度變化相當激烈。在圖九中，日出後室溫急速上昇，太陽西傾後室溫急速下降，夜間產生冷却現象，無加溫溫室或有室溫低於外氣溫的溫度逆轉現象。第二爲因室內受光量不均一，地面加熱，屋頂冷却產生之對流及室外風引起的室內空氣環流，常造成室內氣溫分布的不均一。



圖九　塑膠布溫室內的急昇、急冷[8]（晴天、密閉）（三原義秋）

1. 白天的昇溫

溫室內白天溫度的上昇，主要的原因乃進入室內的日射熱未經由風運走。而加速昇溫現象的第一因素爲透過光量，其次爲密閉性及乾燥的地面。換氣及濕潤的地面則可緩和昇溫速度。當室溫一直上升，同時溫室往外部的放熱也隨著加大，直到放熱和太陽入射熱成均衡，便達到昇溫的限界。

2. 午後的急冷

日沒後，太陽入射熱大量減少，而高溫的室內往外部的放熱減少不如入射熱減少之激烈，而產生午後溫室內溫度的急速下降，此現象尤以容積較小的溫室更形顯著。下降的速度遠大於外氣，甚在比外氣溫還低的情況下仍有持續的現象。

3. 夜間的冷却

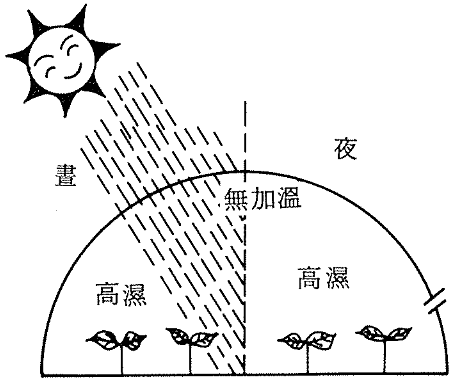
夜間氣溫的下降，主要原因爲空氣接觸較冷的地表面，熱量爲地面接收，由空氣本身自行冷却的溫度下降量極小。在夜間，地表面及地上的植物體持續的放射而放熱，於露地可由夜風帶來上空較溫暖的空氣來補充放射熱，然溫室中夜風爲外表被覆體所隔絕，却持續放熱致產生夜間冷却的現象。無加溫溫室放射放熱稍強盛，地熱貯蓄較少時，常有室內溫度低於外氣溫的情況發生。

4. 室內溫度分布

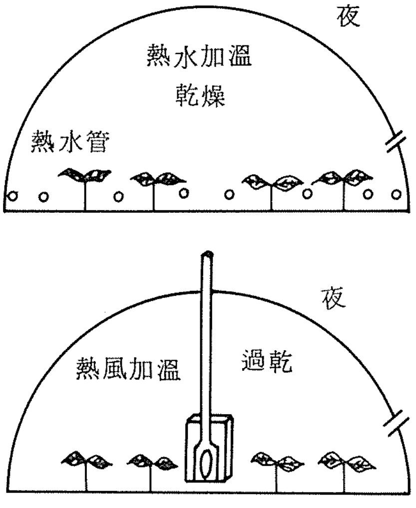
溫室內溫度在水平分布及垂直分布與露地比較皆有顯著的不齊分布現象，主要自然原因爲(1)地面受光不均一；(2)傾斜屋頂時常爲冷却面而所造成之橫斷面對流；(3)屋外風引起之縱斷面對流。其中(1)僅爲白天之問題，(2)、(3)日夜皆持續發生。此外暖氣、附建屋舍等也會助長溫度分布之不齊。

㈣濕度環境

溫室內的濕度因作物的蒸發散，灌溉使栽培床及地面產生的蒸發，溫度的下降，濕空氣的流入等會提高濕度。而因日照及暖氣加溫的溫度上升，換氣、乾空氣的流入等會降低室內空氣濕度。隨著溫室之作業管理，內部濕度的變化極端複雜。一般溫室內的濕度常態如圖十。



晝間太陽熱自然加溫	高濕
無加溫溫室夜間	高濕
熱水加溫溫室夜間	乾燥
熱風加溫溫室夜間	過乾



圖十　溫室內濕度的常態[8]

五、環境控制措施

溫室環境受外氣候、溫室構造及設備，及作物群落之影響。其內容列於下表：

表二　影響溫室環境之因子

外氣候：	日射一太陽位置（太陽高度、太陽方位、日長） 大氣透過率（直線、天空、全天日射量、波長組織） 氣溫 濕度 風（風向、風速） 降雨（降雨量、降雨強度） 空氣組成（CO_2濃度）
構造及設備：	方位、緯度 形狀（寬深高、屋頂形狀及斜率、棟間距、連棟數） 結構組合（樑柱系統、屋面系統、牆面系統） 構材（斷面尺寸及材質） 被覆材料（散光性質、光透過率、透過光質、反射率、導熱性） 附屬設備（換氣、保溫、冷却及加溫設備、反射板、灌溉、遮蔭網）
作物群落：	植物群結構（植物分布、種植方位、葉面積指數） 輻射特性（吸收率、放射率） 植物特性（光合成、氣孔開閉、葉溫、蒸散量、呼吸量）
其他：	作業門之啓閉（出入次數、大小） 溫室之密合度 作業人員（熱收支、呼吸量） 土壤（土壤水分、熱貯存與放射） 溫室周圍之地物

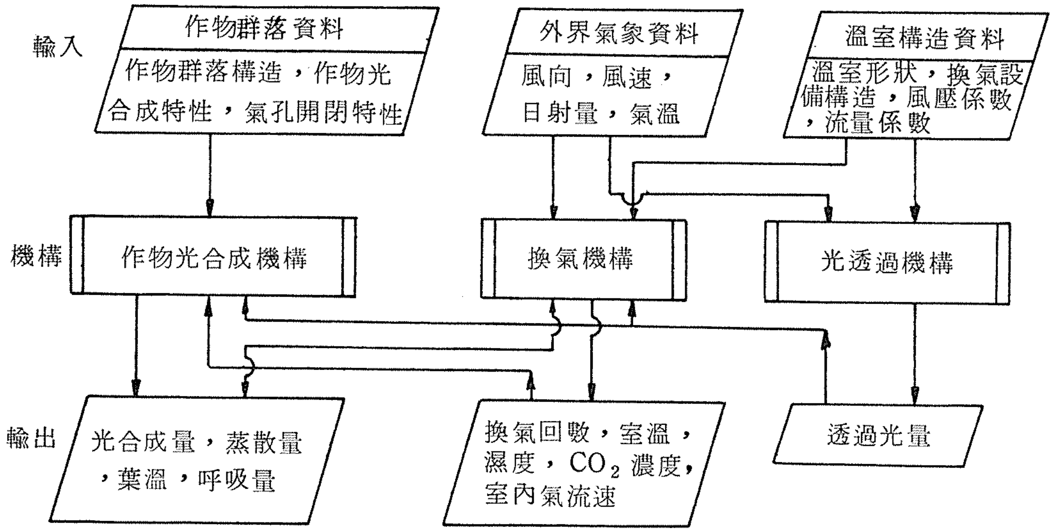
由於以上因子變化導致室內日照、溫度、濕度、風速及CO_2濃度的變化。為了使植物能在適宜的複合環境內成長，可用換氣、冷却、保溫、暖氣、CO_2施肥及灌溉等手段達到預期的環境。以下分別敍述這些措施之方法。

(一)通　風

通風主要的目的在抑制高溫，但當外氣溫比室內高溫時則不能由換氣降溫。其次要目的為調節室內CO_2濃度、濕度及增加室內氣流速度。

換氣與室外氣象資料如風向、風速、日射量、氣溫等，溫室結構資料如形狀、通風構造、風壓係數、流量係數等，作物資料如作物之類別與分布、各作物光合成特性、氣孔開閉特性等，及室內溫濕度、CO_2濃度、氣流速度等有關。其關係如圖十一。

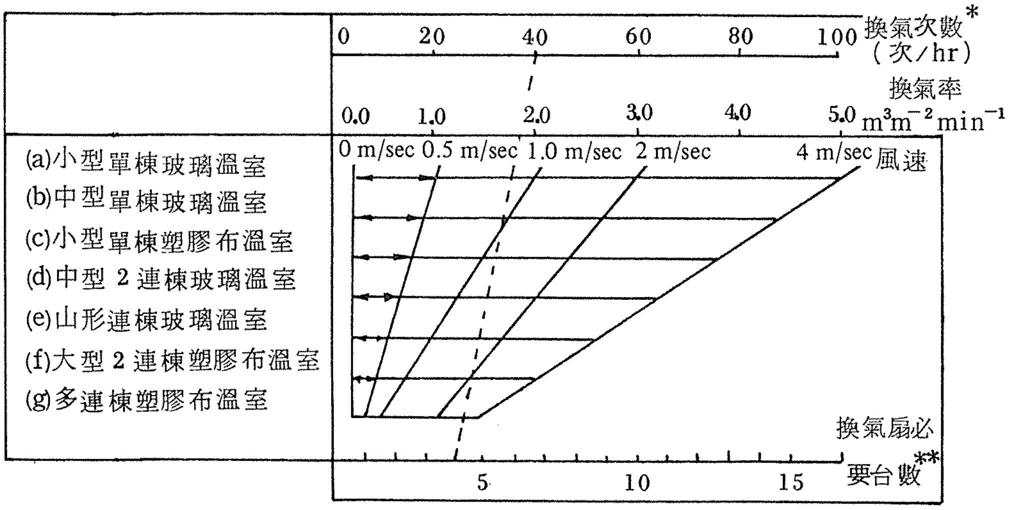
換氣方式有自然及機械通風兩種，自然通風為開啓天窗及側窗利用風力與氣體浮力以達換氣之功能。而機械通風係用風扇將室內空氣排出或將室外空氣吸入達到換氣效果。



圖十一　環境之形成與機構之關係模式[6]

各種溫室開啓天窗及側窗時，最大自然通風概值，與外氣風速之關係如圖十二，其相當之 300 m³／min風扇台數及換氣次數亦示於同圖，如圖中虛線表示通風量爲 300 m³／min 四台風扇在平均高度3 m之小型單棟玻璃溫室內每小時換氣 40 次之通風量相當於外氣風速 0.5～1.0 m／sec 中小型單棟玻璃溫室之自然通風量。

自然通風與開口大小、位置、內外溫度差與風速有關。強迫通風與風扇大小、效率、內外壓差、位置及吸氣或排氣有關。



＊溫室平均高以 3 m換算

＊＊地面積 1000 m²，溫室平均高 3 m，換氣扇風量 300 m³／min 換算

圖十二　溫室種類別，風速別的最大可能自然換氣率的概略值[6]（所有換氣窗全開的時候）

(二)溫室冷却

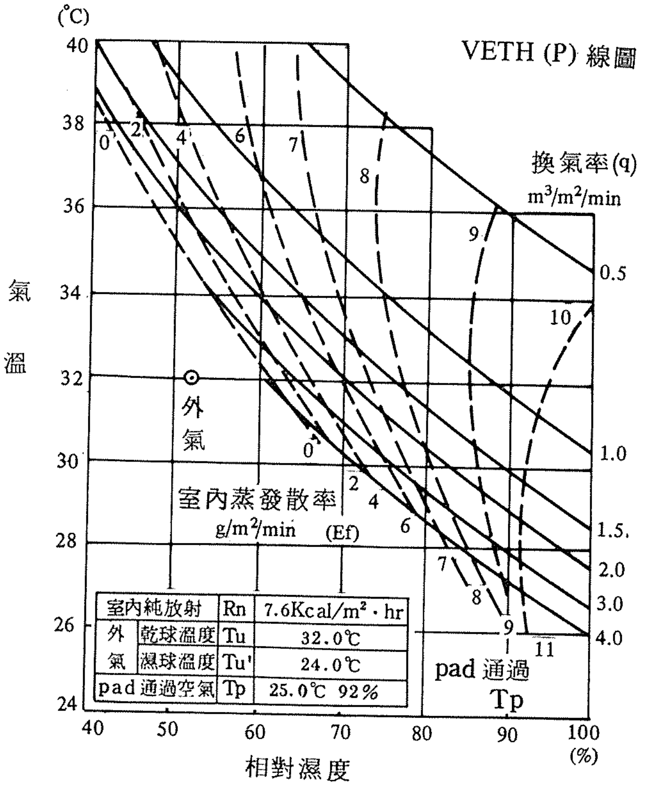
溫室冷却的主要目的在降低室內溫度。其次要目的爲淨化空氣、驅除昆蟲、降低灌漑次數及降低結構造價（比如不需設天窗及側窗）。

它正像換氣樣受外氣候環境因素，室內氣候環境因素，室內植物群種類、分布、特性及結構之形狀、材料、特性等影響，其彼此間之影響參看圖十一。

冷却方法有：(1)利用水蒸氣蒸發吸熱原理之透水牆一抽風扇系統（pad-and-fan）、噴霧一抽風扇系統（mist-and-fan）、細霧一抽風扇（fog-and-fan）及屋頂噴霧法及葉面噴霧法；(2)利用空氣壓縮膨脹原理以降溫之冷氣機或冷凍機法；(3)利用低冷之地下水或湧泉在室內循環帶走熱能之冷水法；(4)利用冷紗覆於屋頂降低日射量及屋頂流水降低透光率減少導熱量，順便帶走熱量之補助方法。

VETH 線圖爲在某一氣象條件時換氣率q，室內蒸發散量E及排氣的溫度T，濕度H的相互關係圖，圖十三係pad-and-fan冷却用VETH圖，利用VETH值可求(1)在某一設定室溫之自然及強迫通風換氣率；(2)細霧冷却時之必要換氣率及細霧發生量之決定；(3)pad-and-fan及mist-and-fan之必要換氣率等。

利用機械之冷却方法時氣流流速應保持0.5m/sec.以下，若棟長小於60m時以設在短邊牆壁爲原則，開口面積應爲電扇面積之3倍。若用冷紗以達降溫目的時，紗面應置於屋面上方10～15cm爲原則。



圖十三　Pad-and-fan冷却用VETH (P) 線圖之一例[6]

㈢暖　　氣

加溫的目的在提高室內溫度。加溫方式、效果及使用對象等列於表三。

暖氣設計時要計算(1)根據暖氣負荷係數、總傳熱量、換氣傳熱量、地中傳熱量及室內外氣溫，所求得之最大暖氣負荷量。(2)根據暖氣使用期間，暖氣之degree-hour所求得之燃燒消耗量等。

表三　加溫方式的種類及特長

方式名稱	方式概要	加溫效果	控制性	管理	其他	適用對象
熱風加溫	○直接加熱空氣	○停止時保溫性不良	○預熱時間短加溫時立刻見效	○不需用水使用容易	○不需配管及放熱管，作業不受阻礙 ○燃燒空氣取自溫室內時需換氣設施	○所有溫室
熱水加溫	○以80～60°的熱水循環熱水變換成熱風吹入室內的方式	○使用溫度低可用於緩慢的加熱 ○餘熱多，停止後保溫性仍高	○預熱時間長 ○可改變水溫以應室溫之變化	○鍋爐的使用比蒸氣容易 ○水質差的地方對水質稍微處理即可	○在寒冷地帶水有結凍的憂慮，對解凍需有對策	○高級作物的溫室 ○大規模設施
蒸氣加溫	○用100～110℃的蒸氣加溫或將蒸氣熱變為溫水或溫風吹入室內	○餘熱少，停止時保溫性不佳	○預熱時間短 ○自動控制較困難	○使用鍋爐必需嚴選 ○水質不經處理易腐蝕配管	○可消毒土壤 ○放熱管難以適當的配置 ○容易形成局部高溫	○大規模設施 ○適於起伏不定地形的溫室
電熱加溫	○以電熱線理入栽培床或以電熱器放射熱量	○停止時保溫性不佳	○預熱時間短 ○可隨意控制	○使用最容易	○使用在大規模的設施時不經濟	○小型溫室 ○育苗設施 ○地中加溫 ○補助加溫

㈣CO_2施肥

CO_2施肥主要的目的在增加室內CO_2濃度以增進光合作用，若以燃燒方式增加CO_2時，不僅可達CO_2施肥效果同時亦可增加室內溫度。

CO_2施肥之方法有燃燒燈油、石油液化氣（propane gas）、天然瓦斯及利用液化CO_2蒸發等方法。燃燒方式需有燃燒筒、燈頭、點滅火裝置及送風等裝置適當配備以免發生如CO、

、SO_2 及 NO_x 等毒氣危害作業人員。液化 CO_2 除需有 CO_2 壓縮筒、減壓閥及流量計，有時需時間控制器以自動控制，由於液化 CO_2 無產生毒氣之慮,加上它可用通氣管送到需 CO_2 之地方,所以安全可靠而有效率，但成本太高是它的致命傷。

㈤灌　溉'

溫室內之灌溉方式依有土及無土栽培而異。有土栽培之灌溉方式分為(1)地表灌溉法：將管路適當佈置於行間，水管加噴頭或打洞適時適量地給水灌溉。地下灌溉法：將管路埋設於地下供給根部水分之方法，此法管孔容易阻塞。(3)滴灌法：管路鑽有滴孔對準植株將水滴入植株附近。(4)噴灌法：在植株上方裝設噴頭以水滴或細霧噴到葉面。(5)底面吸水法：將鉢置於水池經由毛管作用將水吸上根部。無土栽培方面：作物根部以有固形培地或無固定培地方式置於靜止或循環水上吸水，或以滴灌方式滴入培地。有明管排置之方法雖維修容易但阻礙作業。

自動灌溉設備係適當地定出灌水及停水時刻，不用人力自動灌水稱之。灌溉開始及停止時以定時器、土壤水分計、空氣濕度檢出器、蒸發計及水位檢出器等設定之。

灌溉是適時適量給予作物水量以維持良好的成長，灌溉同時也是防止霜害，控制土壤溫度等用途。灌溉水量由ㄗ間容水量、土壤水分、蒸發散量及地下補給水量決定之，灌溉之配水計劃應合理而有效。管理輸水算水管材料、形狀及流體力學有關。

六、結　　語

本省之設施園藝尚在萌芽階段，由於地狹人稠、農民老齡化、國民所得增加、高品質農產品之需求殷切及國外速食之迅速擴展，設施園藝將加速地發展。但設施園藝技術是集生物及工程熔於一爐之科技，故農、工合作從事研究是目前刻不容緩的工作。

本文之目的在介紹溫室建築之主要工程內容及手段以提供從事設施園藝者建造設施之參考，並泛論溫室結構及環境設計之複雜性及在工程上有待注重及解決之事情。為達到建造合用之溫室，依本人之觀點應及早完成下列各項：

㈠參考國外先進國之技術規則去蕪存菁訂定「溫室設計技術規則」以資急用。

㈡建立溫室結構設計程式以供助農民建造。

㈢研究溫室環境以供參考並進一步建立環境控制模式。

㈣有系統地開發物廉價美之建材、設備及計測儀器以發展設旋園藝。

參考文獻

1.王鼎盛、李大剛　1984　本省溫室工程　營建世界　3：79～90。

2.王鼎盛、侯文祥　1984　溫室微氣候之基礎研究(1)—夏季玻璃溫室之溫度環境—　中國農業工程學會 73 年度學術研討會　農業設施與現代農業論文集　pp 125～142。

3.王鼎盛　農業設施與氣象　省訓團專業課程教材。

4.許圳塗　1986　精密溫室理論與實務　造園季刊　1（4）：55～60。

5.王鼎盛、黃裕益　1986　山形玻璃溫室剛架最小重量設計及直達光透過率之探討　台大農工研。

6.三原義秋　1980　溫室設計の基礎と實際　pp 51～237　養賢堂。

7.板木利隆　1985　施設園藝裝置と栽培技術　pp 34～170　誠文堂新光社。

8.三原義秋　1972　施設園藝の氣候管理 pp1～46　誠文堂新光社。

9. 農林水産技術會議事務局　1980　高能率園藝施設計畫，設計基準に關する研究成果。
10. 古在豐樹　1985　施設園藝の環境調節新技術—基礎と展望—　pp 1 ～ 4，pp 169 ～ 198　日本施設園藝協會。

SUMMARY

The development of horticultural production under structures possesses two extreme trends in operation. One includes investing great amount of capital, building larger pattern of facilities, with well furnished equipment and high techniques of cultivation management, so called environmental control greenhouse horticulture. The other is based on minimum requirement of investment and labor, simple construction, without heating facilities, so called horticultural production under structures of nature modified environment.

Although each trend has its own way in expression, the basic concept and technique are the same. This content is based on the viewpoint of agricultural engineering, consider the common ideas of both trends, summerize the elementary theory of greenhouse structural design and environmental control method, combine engineering and biology together, in order to improve the development of horticultural production under structures of Taiwan.

討　論

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）問：

(1)台灣之溫室依所指出東西棟之透光率較爲穩定，南北棟較不穩定，是指單棟式？(2)如爲連棟式時，是何種結果？(3)台灣之連棟溫室如僅以透光率條件時，以何角度較爲理想？

王鼎盛答：

(1)是單棟式的，若雙棟式的變化更大（透光率）。依日本之研究以東西連棟式比南北透光率較大。(2)這是日本千葉大學的研究成果，在日本九州東西交叉是15° (3)我們這邊還沒做研究，這只是單棟的，我們會漸漸的求證做最理想的配合。

賴森雄（亞洲蔬菜研究發展中心）問：

溫室內降溫與加溫之費用那一種便宜？

王鼎盛答：

降溫一度之費用比加溫一度之費用高。

廖芳心（桃園區農業改良場）問：

目前使用鍍鋅管所蓋之簡易溫室，結構上是否提供需改進之點？

王鼎盛答：

鍍鋅管簡易溫室受地區（如本省可分爲四個風區）、土壤（基礎）、施工技術等而變化，故在結構在結構上需改進的地方太多。此種簡易溫室之結構，在沒有天然災害時是可以使用的。但在日本就不一樣，因日本簡易式的鍍鋅管的破壞是由於雪載重而整個塌下去，台灣則即使是塌下，也不會傷害人體。

陳中（國立台灣大學園藝系）問：

以鍍鋅鐵管製造拱式塑膠布室，爲經濟材料之使用，就結構力學的觀點，跨度的大小應如何考慮訂定？

王鼎盛答：

是可以簡化，但我們沒有做過。事實上跨距與斷面的大小有關，跨距要大斷面就要大，所以沒一定標準，設計時即應做結構分析。

馬清華（亞洲蔬菜研究發展中心）問：

在各式各樣不同屋頂型式的溫室中，那一類的屋頂型式、角度或高度，可使溫室內之溫度降低最低，通風最好？

王鼎盛答：

光照的需求依作物而不同，亦受溫室屋頂角度之影響，何者溫室通風較好，不能以一句話形容，還是應依環境設計來設計。

許東暉（桃園區農業改良場三重分場）問：

如何在夏季降溫，係簡易設施栽培作物目前急須解決要務，設施建造的長度、寬度似與溫度之高低有關。請教一般鍍鋅鐵管的簡易設施的長度寬度、寬度多長較合適？

王鼎盛答：

若說要多大、多寬、多長，我實在無法答覆，因爲也要看棟與棟之間的距離，還有你要設的地點也有關。就通風來說，並非所有天窗全開是最通風，有時也要看風向，或是右邊開小一

點，左邊開大一點，這都要憑經驗去決定。也即是一棟溫室建好後，必須要實地去運轉方能了解。